

# 基于模糊层次分析法的 AGC 机组调配决策研究

魏甜甜, 赵彩虹

(南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 中国电力工业正处在厂网分开、竞价上网、开放电力市场阶段, 而 AGC 机组参与系统负荷调节又是电力市场中很重要的内容. 针对电力市场下 AGC 机组调度的选择提出了一种基于三角模糊数的层次分析法, 经实例验证该方法反映了决策因素的模糊性和不确定性, 提高了选择的可信度, 为 AGC 机组经济调度综合评判提供了一种新方法.

[关键词] AGC 机组调度, 三角模糊数, 模糊层次分析法

[中图分类号] TM 74 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2008) 03-0011-06

## Judgment of Policy-Making for Selection of AGC Units Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process

Wei Tiantian Zhao Caihong

(School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

**Abstract** The power industry of China is going to establish a market-based operational mechanism which makes a feature of separation of generation and transmission management, competition before supplying and open access. In electricity market the problem of pricing and performing management by AGC units is an important problem. The fuzzy analytic hierarchy process based on triangular fuzzy numbers is advanced aiming at the selection of AGC units on the market-based power industry. It is illustrated that this method reflects the fuzzy information and uncertainty of decision-making and enhances the reliability of the selections validated by examples. A new method is proposed here for the comprehensive judgment of AGC units selection.

**Key words** selection of AGC units, triangular fuzzy numbers, fuzzy AHP

我国的电力工业正逐步进入“厂网分开, 竞价上网”的开放电力市场阶段, 电力市场的建立无疑给 AGC 机组的运营调配提出了新的要求. 在所有运行的具有 AGC 功能的机组中, 选择多大容量按电网实时调节指令运行最能保证电网安全稳定运行的要求? 选择哪些机组按电网调节指令运行最为合理? 在调度 AGC 机组时, 调度员经常需要面临一系列对技术上满足要求的方案进行选择的问题. 在解决问题时, 需要考虑多种相关且约束的因素, 并对这些方案进行综合评价, 最后获得相对满意的方案结果<sup>[1]</sup>.

层次分析法 (AHP) 用于多目标决策, 是分析复杂问题的一种简便方法, 适用于难以完全用定量进行分析的复杂问题<sup>[2]</sup>, 近年来层次分析法越来越多的运用于电力系统多目标决策问题的选择过程. 然而在运用过程中调度员发现传统的层次分析法存在以下的缺陷: ① 专家对 AGC 机组调配方案的定性评价打分采用点值, 只考虑了人为判断的两种可能的极端情况, 不能够正确地反映决策因素的模糊性和不确定性; ② 在构造比较判断矩阵时由一个专家给出的比较判断矩阵带有一定的片面性, 从而导致调度决策的可信度不高. 针对以上问题, 在机组调配过程中采用模糊层次分析法 (Fuzzy AHP) 能够解决打分主观性高和点值缺乏弹性的问题.

本文首先介绍模糊层次分析法的基本原理, 然后结合实例介绍基于模糊层次分析法综合评判 AGC 机组调配的过程.

收稿日期: 2008-01-17

通讯联系人: 赵彩虹, 教授, 研究方向: 电力系统自动化及无功优化电力市场. E-mail: zhao\_caihong@njnu.edu.cn

# 1 模糊层次分析法

对于 AHP 许多的批评之一是 AHP 在构造判断矩阵时没有考虑人判断时的模糊性, 故人们常在大量选择和判断中引入 Fuzzy 集合概念<sup>[2]</sup>. 由于判断的不确定性, 当人们在构造互补判断矩阵时所得到的判断值有时不是确定的数值点, 而是以三角模糊数形式给出, 经过权重求解和排序解决实际的决策问题.

## 1.1 三角模糊数<sup>[2]</sup>

设区间  $R$  上的 Fuzzy 数  $M$  称三角 Fuzzy 数, 如果  $M$  的隶属度函数  $\mu_M: R \rightarrow [0, 1]$  表示为:

$$\mu_M(x) = \begin{cases} \frac{1}{m-l}x - \frac{l}{m-l}, & x \in [l, m], \\ \frac{1}{m-u}x - \frac{u}{m-u}, & x \in [m, u], \\ 0 & \text{其它,} \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $l \leq m \leq u$ ,  $l$  和  $u$  表示  $M$  的下界、上界值;  $m$  为  $M$  的隶属度为 1 的中值. 那么, 三角 Fuzzy 数  $M$  表示为  $(l, m, u)$ .

## 1.2 三角模糊数运算<sup>[3]</sup>

设  $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ,  $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ , 则:

三角 Fuzzy 数加法:  $M_1 \oplus M_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$ ;

三角 Fuzzy 数乘法:  $M_1 \odot M_2 = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2)$ ;

三角 Fuzzy 数倒数:  $\frac{1}{M_1} = \left( \frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1} \right)$ .

# 2 应用三角模糊数的 Fuzzy AHP 的算法步骤

在改进原有层次分析法的基础上, 应用 Fuzzy AHP 进行 AGC 机组调配决策综合评判的整个算法流程如图 1 所示.

- (1) 认真分析待选方案特点, 建立决策层次结构;
- (2) 利用三角模糊数构造模糊判断矩阵<sup>[4]</sup>.

通过专家打分确定所有的因素比较判断矩阵和方案比较判断矩阵.

首先根据决策因素重要性的不同建立层次结构, 专家个数为  $B$ , 待选方案为  $Q$  个. 建立专家层次结构后, 进行专家打分, 由专家确定所有由两两比较得到的因素判断矩阵和方案判断矩阵, 在本文中采用 AHP 1-9 标度三角互反判断矩阵<sup>[4]</sup>,  $m$  的打分规则如表 1 所示.

如果  $a$  比  $b$  明显重要, 可以使用 3 到 5 之间的一个专家认为合适的数字来表示其相对的重要性, 反之  $b$  比  $a$  的重要性就是该数字的倒数,  $l$  和  $u$  的取值待  $m$  确定之后, 按照三角模糊数的规则选取. 这种方法所得的矩阵就是矩阵元素关于对角线呈倒数关系的互反矩阵<sup>[1]</sup>.

设与某一个决策因素相关联的下一层决策因素共有  $n$  个, 所有专家的评分构成了一组模糊判断矩阵, 该层上所有决策因素的两两比较所得矩阵为因素判断矩阵, 针对任意一个因素的所有方案两两比较所得矩阵为方案判断矩阵.

## (3) 专家综合打分

为了消除专家的个人偏好造成的专家打分中存在的偏差, 必须对专家打分得到的比较判断矩阵进行处理, 以形成一个综合三角模糊判断矩阵. 该层方案判断矩阵及因素判断矩阵的综合打分可由下式求得:

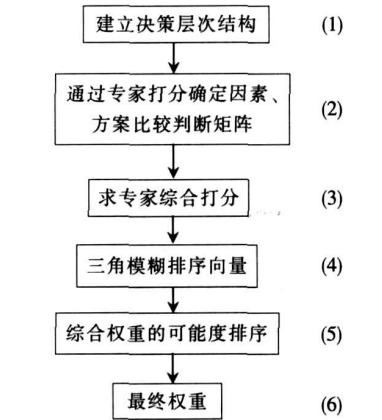


图 1 Fuzzy AHP 进行 AGC 机组调配的算法流程图

Fig.1 The flow chat of the selection of AGC units based on Fuzzy analytic hierarchy process

表 1 1-9 标度方法打分准则

Table 1 Marked rule of 1-9 grade

等级	语言描述程度
1	表示两个元素相比, 具有同等重要性
(1, 3)	表示两个元素相比, 一个元素比另一个元素稍微重要
(3, 5)	表示两个元素相比, 一个元素比另一个元素明显重要
(5, 7)	表示两个元素相比, 一个元素比另一个元素强烈重要
(7, 9)	表示两个元素相比, 一个元素比另一个元素极端重要

a\_ji = 1/T (a\_j1 + a\_j2 + ... + a\_jB ). (2)

其中所得矩阵具有互反性质: a\_ji = a\_ji^-1 = [ 1/u\_j, 1/m\_ij, 1/l\_j ]

(4) 三角模糊排序向量  
局部因素模糊权重由下式求出:

S\_k = sum\_{j=1}^n M\_ij o-dia (sum\_{i=1}^n sum\_{j=1}^n M\_ij )^-1, (3)

式中: S\_k 表示局部因素模糊权重;M\_j表示局部因素综合判断矩阵;  
局部方案判断矩阵权重的求解与局部因素模糊判断矩阵权重的求解相类似:

F\_kq = sum\_{j=1}^Q E\_ij^k o-dia (sum\_{i=1}^Q sum\_{j=1}^Q E\_ij^k )^-1, (4)

式中: F\_kq 表示第 q 个方案针对第 k 个因素打分求得的方案局部权重值, 其中 q = 1 2 ...Q, 最后得到局部方案权重矩阵 F = [F\_kq ]n×Q. E\_jk 表示针对第 k 个因素的方案判断矩阵, k = 1 2 ...n.

所以局部权重向量:

N^x = S x F^T. (5)

然后根据传统 AHP 的法则逐层向上计算, 最后求得总目标的综合权重.

(5) 综合权重的可能度排序<sup>[2]</sup>

设 M\_1 = ( l\_1, m\_1, u\_1 ), M\_2 = ( l\_2, m\_2, u\_2 ), 则称:

p (M\_1 >= M\_2 ) = lam in [ 1 - m ax [ (m\_2 - l\_1) / (m\_1 - l\_1 + m\_2 - l\_2), 0 ], 1 ] + (1 - lam) m ax [ 1 - m ax [ (u\_1 - m\_2) / (u\_1 - m\_1 + u\_2 - m\_2), 0 ], 0 ] (6)

为 M\_1 >= M\_2 的可能度, 其中 lam in [0, 1].

类似地称:

p (M\_2 >= M\_1 ) = lam in [ 1 - m ax [ (m\_2 - l\_1) / (m\_1 - l\_1 + m\_2 - l\_2), 0 ], 1 ] + (1 - lam) m in [ 1 - m ax [ (u\_2 - m\_1) / (u\_1 - m\_1 + u\_2 - m\_2), 0 ], 0 ] (7)

为 M\_2 >= M\_1 的可能度.

lam 值的选择取决于决策者的风险态度<sup>[1]</sup>. 当 lam > 0.5 时, 是追求风险的; 当 lam = 0.5 时, 是风险中立的; 当 lam < 0.5 时, 是厌恶风险的. 在本文中采用风险中立的态度, 即 lam = 0.5

应用该可能度公式求得相应的可能度矩阵 P\_ij, 该矩阵包含了所有方案相互比较的可能度. 这样三角模糊数形式的综合权重的排序就转化成了求解可能度矩阵的排序向量.

(6) 求得最终权重

利用以下公式对可能度矩阵进行求解, 得到排序矩阵的排序向量, 也就得到了相应的方案排序.

omega\_i = 1/Q (sum\_{j=1}^Q p\_ij + 1 - Q/2). (8)

3 实际运用

3.1 实例介绍

某电网最大负荷为 5 700 MW, 调节容量为 200 MW, 现有 10 台 AGC 机组做备用, 备选 AGC 机组参数如下表, 要求选择在容量价格、电量价格、调节容量、调节速度<sup>[5 6]</sup>几个标准下性能优越的机组组合投入该电

表 2 备选 AGC 机组参数  
Table 2 Parameters of pending AGC units

机组号	容量价 / (元 / MW)	电量价 / (元 / MW)	容量 / (MW)	调节速度 / (MW / min)
1	94.464	222.876	25	2
2	117.342	272.322	50	5
3	98.892	290.772	25	2
4	105.534	245.016	50	6
5	123.984	267.894	60	6
6	90.036	217.71	25	1
7	87.084	231.732	25	4
8	84.87	212.544	25	4
9	106.272	262.728	36	5
10	66.42	178.596	10	1

网调节.

3.2 应用模糊层次分析法进行综合评判

3.2.1 建立层次结构

该电网备选的 AGC 机组有 10 台, 这 10 台机组各有优势, 需要综合各方面的因素进行综合评判决策. 本实例的决策目标是在 10 个待选方案中确定相对较佳的方案. 该电网 AGC 机组调配的决策层次图如图 2 所示.

图 2 所示的层次结构是围绕 10 个待选方案的综合优越性评估这一决策目标建立的, 调节容量、调节速率、容量成本和电量成本构成与决策目标直接相关的下一层子因素, 10 个备选方案又分别与上述 4 个因素构成相关的下一层子因素. 整个 AHP 计算过程都是围绕着层次结构图展开的. AHP 的最终目的是求出各方案对总目标的相对重要性评分, 即综合权重.

3.2.2 建立因素判断矩阵和方案判断矩阵

建立决策层次结构后, 进行专家打分. 由专家确定所有由两两比较的因素判断矩阵和方案判断矩阵. 本例中的决策站在整个电网的立场, 将调节容量、调节速率、容量成本和电量成本 4 个决策因素视为同等重要. 根据图 1 所示的层次结构, 共形成 1 个因素判断矩阵和 4 个  $10 \times 10$  的方案判断矩阵. 表 3 为因素判断比较矩阵.

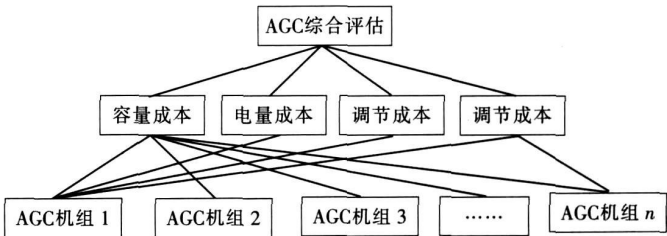


图 2 电网 AGC 机组调配的决策层次图  
Fig.2 Decision-making hiberarchy of AGC units

表 3 决定因素的比较打分矩阵

Table 3 Comparative marked matrix of decision-making

	容量成本	电量成本	调节容量	调节速度
容量成本	[ 1. 00 1. 00 1. 00]	[ 1. 00, 1. 00, 1. 00]	[ 1. 00 1. 00 1. 00]	[ 1. 00, 1. 00 1. 00]
	[ 1. 00 1. 00 1. 00]	[ 1. 00, 1. 00, 1. 00]	[ 1. 00 1. 00 1. 00]	[ 1. 00, 1. 00 1. 00]
	[ 1. 00 1. 00 1. 00]	[ 1. 00, 1. 00, 1. 00]	[ 1. 00 1. 00 1. 00]	[ 1. 00, 1. 00 1. 00]
电量成本		[ 1. 00, 1. 00, 1. 00]	[ 1. 00 1. 00 1. 00]	[ 1. 00, 1. 00 1. 00]
		[ 1. 00, 1. 00, 1. 00]	[ 1. 00 1. 00 1. 00]	[ 1. 00, 1. 00 1. 00]
		[ 1. 00, 1. 00, 1. 00]	[ 1. 00 1. 00 1. 00]	[ 1. 00, 1. 00 1. 00]
调节容量			[ 1. 00 1. 00 1. 00]	[ 1. 00, 1. 00 1. 00]
			[ 1. 00 1. 00 1. 00]	[ 1. 00, 1. 00 1. 00]
			[ 1. 00 1. 00 1. 00]	[ 1. 00, 1. 00 1. 00]
调节速度				[ 1. 00, 1. 00 1. 00]
				[ 1. 00, 1. 00 1. 00]
				[ 1. 00, 1. 00 1. 00]

3.2.3 专家综合打分

在进行局部权重计算之前必须应用公式 ( 2) 对专家打分进行处理, 消除由于专家的个人偏好造成的专家打分中存在的偏差. 得到表 3 对应的因素综合判断矩阵, 如表 4 所示.

表 4 决定因素的比较综合打分矩阵

Table 4 Composite comparative marked matrix of decision-making

	容量成本	电量成本	调节容量	调节速度
容量成本	[ 1. 00 1. 00 1. 00]	[ 1. 00, 1. 00, 1. 00]	[ 1. 00 1. 00 1. 00]	[ 1. 00, 1. 00 1. 00]
电量成本		[ 1. 00, 1. 00, 1. 00]	[ 1. 00 1. 00 1. 00]	[ 1. 00, 1. 00 1. 00]
调节容量			[ 1. 00 1. 00 1. 00]	[ 1. 00, 1. 00 1. 00]
调节速度				[ 1. 00, 1. 00 1. 00]

同时建立基于调节容量、调节速率、容量成本和电量成本这 4 个决定因素的方案比较矩阵, 并利用公式 ( 2) 进行处理, 得出决定因素的比较综合打分矩阵.

### 3.2.4 求局部权重和综合权重

应用公式 (3) 对表 3 中的决定因素的比较综合打分矩阵进行处理, 可以得到容量成本、电量成本、调节容量、调节速率这 4 个因素的相对权重, 本例中该 4 个因素相对权重相同:

$$S = \begin{bmatrix} (0.25 & 0.25 & 0.25) \\ (0.25 & 0.25 & 0.25) \\ (0.25 & 0.25 & 0.25) \\ (0.25 & 0.25 & 0.25) \end{bmatrix}.$$

应用公式 (4) 对方案比较综合打分矩阵进行处理, 可以得到基于容量成本、电量成本、调节容量、调节速率这 4 个因素的方案比较权重矩阵:

$$F = \begin{bmatrix} (0.076 & 0.087 & 0.098), (0.086 & 0.093 & 0.100), (0.103 & 0.108 & 0.113), (0.105 & 0.120 & 0.133) \\ (0.105 & 0.119 & 0.135), (0.114 & 0.122 & 0.132), (0.074 & 0.078 & 0.084), (0.069 & 0.080 & 0.089) \\ (0.122 & 0.139 & 0.156), (0.091 & 0.098 & 0.107), (0.103 & 0.108 & 0.113), (0.097 & 0.111 & 0.124) \\ (0.088 & 0.099 & 0.112), (0.098 & 0.107 & 0.116), (0.074 & 0.078 & 0.084), (0.064 & 0.072 & 0.079) \\ (0.103 & 0.116 & 0.130), (0.131 & 0.141 & 0.155), (0.065 & 0.070 & 0.075), (0.064 & 0.072 & 0.079) \\ (0.076 & 0.085 & 0.096), (0.082 & 0.089 & 0.096), (0.103 & 0.108 & 0.113), (0.124 & 0.144 & 0.164) \\ (0.082 & 0.093 & 0.104), (0.078 & 0.086 & 0.093), (0.103 & 0.108 & 0.113), (0.081 & 0.094 & 0.105) \\ (0.073 & 0.082 & 0.092), (0.077 & 0.084 & 0.091), (0.103 & 0.108 & 0.113), (0.081 & 0.094 & 0.105) \\ (0.098 & 0.111 & 0.128), (0.099 & 0.108 & 0.120), (0.087 & 0.093 & 0.098), (0.070 & 0.080 & 0.089) \\ (0.062 & 0.069 & 0.080), (0.066 & 0.071 & 0.077), (0.130 & 0.141 & 0.153), (0.121 & 0.134 & 0.174) \end{bmatrix},$$

所以各个方案关于目标的三角模糊数形式的综合权重:

$$N^x = S \times F^T = \begin{bmatrix} (0.0926 & 0.1021, 0.1111) \\ (0.0907 & 0.0999, 0.1097) \\ (0.1031 & 0.1140, 0.1248) \\ (0.0810 & 0.0890, 0.0977) \\ (0.0908 & 0.0998, 0.1099) \\ (0.0963 & 0.1063, 0.1170) \\ (0.0861 & 0.0953, 0.1035) \\ (0.0837 & 0.0921, 0.1003) \\ (0.0885 & 0.0980, 0.1087) \\ (0.0945 & 0.1037, 0.1207) \end{bmatrix}.$$

### 3.2.5 综合权重的排序

应用可能度公式 (6), (7) 求得相应的可能度  $p$ , 并且建立可能度矩阵修正后的  $P = (p_{ij})_{10 \times 10}$  如下:

$$P = \begin{bmatrix} 0.5000 & 0.1952 & 0.5000 & 0.0000 & 0.1946 & 0.3513 & 0.0722 & 0.0000 & 0.1421 & 0.2968 \\ 0.8048 & 0.5000 & 0.5000 & 0.0000 & 0.2500 & 0.4062 & 0.1250 & 0.0398 & 0.1952 & 0.3533 \\ 0.5000 & 0.5000 & 0.5000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0766 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0149 \\ 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 0.5000 & 0.5000 & 0.5000 & 0.4157 & 0.3384 & 0.4857 & 0.5000 \\ 0.8054 & 0.7500 & 1.0000 & 0.5000 & 0.5000 & 0.4079 & 0.1236 & 0.0374 & 0.1946 & 0.3544 \\ 0.6487 & 0.5938 & 0.9234 & 0.5000 & 0.5921 & 0.5000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0436 & 0.1927 \\ 0.9278 & 0.8750 & 1.0000 & 0.6616 & 0.9626 & 1.0000 & 0.8295 & 0.5000 & 0.3994 & 0.5000 \\ 0.8579 & 0.8048 & 1.0000 & 0.5143 & 0.8054 & 0.9564 & 0.6818 & 0.6006 & 0.5000 & 0.4064 \\ 0.7032 & 0.6467 & 0.9851 & 0.5000 & 0.6456 & 0.8073 & 0.5217 & 0.5000 & 0.5936 & 0.5000 \end{bmatrix}.$$

该矩阵包含了所有备选 AGC 机组相互比较的可能度信息, 这样对三角模糊数形式的综合权重进行的排序就转化为求解可能度矩阵的排序向量. 利用公式 (8) 对可能度矩阵求解得到可能度矩阵判断矩阵的排序向量, 即可得到相应的排序向量:

$$\omega = (-0.1748 \quad -0.0826 \quad -0.2409 \quad 0.2240 \quad 0.0673 \quad -0.0006 \quad 0.2731 \quad 0.3813 \quad 0.3128 \quad 0.2403).$$

由以上的结果可以得出结论: 站在全网的角度上, 按照可能度排序之从小到大的顺序, AGC 机组 8 的可能度排序值最大, AGC 机组 9 次之, AGC 机组 1 2 3 6 得到的可能度排序值为负值, 说明这 4 台机组不符合该电网的要求, 不能投入电网使用, 一旦投入相反会使该网不稳定, 故排除这 4 台机组. 因为原电网的容量为 200MW, 如果只按调节性能来选择的话, AGC 机组 8 的综合评价最高.

最终选择 AGC 机组 4 5 7 8 9 10 投入该电网运行, 总共调节容量为 206 MW. 然而原电网的调节容量为 200MW, 若投入该电网运行仍有 6MW 的富余容量. 随着电力市场的发展, 电网已经不仅仅要求满足系统容量这一单一标准. 选择的机组组合虽富余 6MW, 但是若运行于该电网中, 不仅满足在系统容量和速率要求的情况下选中报价最低的机组, 有利于降低市场统一边际价格, 从而降低整个系统的 AGC 容量购置费用. 最终的综合评判结果是淘汰 AGC 机组 1 2 3 6, 选择 AGC 机组 4 5 7 8 9 10 的组合投入原有电网使用.

## 4 结语

本文结合实际完成了对 AGC 机组调配的选择, 应用模糊层次分析法求取综合权重指标, 得到排序向量, 它改善了传统层次分析法使用点值打分在 AGC 机组决策中的不足, 降低了比较打分的难度, 同时反映了决策因素的模糊性和不确定性. 而且该方法还对决策因素的权重进行打分, 使得发电方和供电方各取所需, 增加的 AGC 机组调度的弹性. 关于站在发电方的立场和供电方的立场对 AGC 机组的调度将在以后的研究中详细阐述; 多个专家打分加权平均的方法能够有效降低个人偏好造成的片面性. 本文提出的运用模糊层次分析法调配 AGC 机组为以后的 AGC 机组调配研究提出了一条新思路.

## [参考文献] (References)

- [1] 陈大宇, 肖峻, 王成山. 基于模糊层次分析法的城市电网规划决策综合评判[J]. 东北电力技术, 2003(9): 5-9  
Chen Dayu, Xiao Jun, Wang Chengshan. Comprehensive judgment of policy-making for urban power network based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. Northeast Electric Power, 2003(9): 5-9. (in Chinese)
- [2] 许树柏. 实用决策方法——层次分析法原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1999. 1-6 14-22 133-142  
Xu Shubai. Basic Decision-Making Theory of Analytic Hierarchy Process[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 1999. 1-6 14-22 133-142. (in Chinese)
- [3] 徐泽水. 三角模糊数互补判断矩阵的一种排序方法[J]. 模糊系统与数学, 2002, 16(1): 47-50  
Xu Zeshui. A method for priorities of triangular fuzzy number complementary judgment matrices[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2002, 16(1): 47-50
- [4] 王鹤, 曾鸣, 陈珊, 等. 基于模糊层次分析法的供电服务质量综合评价模型[J]. 电网技术, 2006, 30(17): 92-96  
Wang He, Zeng Ming, Chen Shan, et al. Comprehensive evaluation model for power supply service quality based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. Power System Technology, 2006, 30(17): 92-96. (in Chinese)
- [5] 吴集光, 刘俊勇, 宋卫平, 等. 市场环境评估 AGC 机组参与辅助服务方法研究[J]. 中国电力, 2006 39(3): 40-44  
Wu Jiguang, Liu Junyong, Song Weiping, et al. Research on assessing methods of AGC generations in ancillary service under market environment[J]. Electric Power, 2006 39(3): 40-44. (in Chinese)
- [6] 赵彩虹, 仇玉萍, 王启. 基于 AHP 考虑用户支付意愿的输电阻塞管理综合办法[J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2006, 6(2): 1-7.  
Zhao Caihong, Qiu Yuping, Wang Qi. A composite congestion management method considering consumer's willingness-to-pay based on AHP[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2006, 6(2): 1-7. (in Chinese)
- [7] 张志涌. 精通 MATLAB 6.5 版[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003 311-322  
Zhang Zhiyong. MATLAB 6.5 [M]. Beijing: Beijing Aeronautics and Astronautics University Press, 2003. 311-322. (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]